云 南 植 物 研 究　2003，25（3）：303～312
Acta Botanica Yunnanica

云南产8种卷柏科植物的孢子形态*

刘家熙[1]，孙晓红[1]**，靳　颖[1]，吕　琳[1]，余晓星[1]，张宪春[2]
（1 首都师范大学生物系，北京　100037；2 中国科学院植物研究所，北京　100093）

摘要：利用光学显微镜和扫描电子显微镜首次观察了云南产8种卷柏科（Selaginellaceae）植物：钝叶卷柏 *Selaginella amblyphylla* Alston；双沟卷柏 *S. bisulcata* Spring；勃固卷柏 *S. kurzii* Baker；疏穗卷柏 *S. laxistrobilis* K. H. Shing；微齿钝叶卷柏 *S. ornata*（Hook. et Grev.）Spring；耳叶卷柏 *S. pseudopaleifera* Hand.-Mazz.；高雄卷柏 *S. repanda*（Desv. ex Poir）Spring；泰国卷柏 *S. siamensis* Hieron. 的大、小孢子形态。研究结果表明卷柏科植物大、小孢子为辐射对称、三裂缝，其表面纹饰复杂，8种卷柏植物的大、小孢子在孢壁纹饰上存在着较明显差异。为卷柏科形态学和系统演化的研究提供了有价值的基础资料。

关键词：卷柏科；孢子形态；扫描电子显微镜
中图分类号：Q 944　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0253-2700（2003）03-0303-10

Spore Morphology of Eight Species of Selaginellaceae from Yunnan

LIU Jia-Xi[1]，SUN Xiao-Hong[1]**，JIN Ying[1]，LÜ Lin[1]，YU Xiao-Xing[1]，
ZHANG Xian-Chun[2]
（1 *Department of Biology*，*Capital Normal University*，Beijing 100037，China；
2 *Institute of Botany*，*Chinese Academy of Sciences*，Beijing 100093，China）

Abstract：The spores of eight species of Selaginellaceae，*Selaginella amblyphylla* Alston，*S. bisulcata* Spring，*S. kurzii* Baker，*S. laxistrobilis* K. H. Shing，*S. ornata*（Hook. et Grev.）Spring，*S. pseudopaleifera* Hand.-Mazz.，*S. repanda*（Desv. ex Poir）Spring and *S. siamensis* Hieron. from Yunnan of China were observed by means of LM and SEM. The morphological characteristics of both the microspores and the megaspores are described in detail. The treatment emphasizes scanning electron microscope（SEM）studies for the structural details（the shape，size，trilete and surface ornamentation）in the micrographs，and refers to light microscope studies only on spore size（at least 20 spores are observed to get the average）. The conclusion is that the spore morphology of these eight species is different from each other. The author considers that to identify these species of *Selaginella* by micro-morphological character is reasonable. With scanning species in the genus of *Selaginlla*，it seems to contribute to the materials for systematic and palynology of Selaginellaceae.

---

* **基金项目：**国家自然科学基金资助项目（No. 39800011）

** **通讯作者**　Author for correspondence

收稿日期：2002-09-16，2002-11-22 **接受发表**

作者简介：刘家熙（1963-）男，北京人，副教授，从事发育植物学研究。E-mail：liu-jiaxi@263. net

Key words：Selaginellaceae；Spore morphology；SEM

卷柏科（Selaginellaceae）属于蕨类植物门、石松纲、卷柏目。全世界约750种（Jermy，1990），我国约60种（张宪春，未发表），云南约40种，占我国卷柏植物总数的70%，资源十分丰富。而专门研究云南地区卷柏的文献几乎没有，现有的文献只是很零散地对采自云南的卷柏标本作单方面的分析，缺少深入的较系统的研究。卷柏科植物是一年生或多年生草本，植株小，分类性状不明显，是蕨类植物中分类较为困难的一群植物（周厚高等，1999）。孢粉形态结合植物分类和系统发育是蕨类植物孢粉形态研究的主要方向。Robert（1969）、Tryon（1982）、Minaki（1984）、Bajpai和Maheshwari（1986）、张玉龙等（1976）、黄增泉（1981）、刘保东等（1989）、刘家熙等（2001）和孙晓红等（2002）等在卷柏科植物孢粉学方面作了一些研究工作，但均未涉及本文云南产的8种卷柏科植物。本文利用扫描电镜辅以光镜的方法，研究了云南产8种卷柏科植物大、小孢子的形态特征，旨在为卷柏科植物的种间分类提供孢粉学依据，为云南的卷柏科研究提供资料。

1 材料和方法

8种卷柏科植物大、小孢子材料取自中国科学院国家标本馆（PE），具体来源参看表1。

表1 实验材料及其来源

Table 1 Species examined in this study

编号	种名	扫描材料	采集地	采集人	采集号	鉴定人
1	钝叶卷柏 *Selaginella amblyphylla* Alston	大孢子 小孢子	镇越	王启无	78856	张宪春
2	双沟卷柏 *S. bisulcata* Spring	大孢子 小孢子	贡山 永德	青藏队 朱维明等	9432 14863	张宪春
3	勃固卷柏 *S. kurzii* Baker	大孢子 小孢子	孟连	朱维明等	15682	朱维明
4	疏穗卷柏 *S. laxistrobilis* K. H. Shing	大孢子 小孢子	宾川	滇西北金沙江队	6645	秦仁昌
5	微齿钝叶卷柏 *S. ornata* Spring	大孢子 小孢子	屏边 西畴	税玉民 王中仁	1390 – 36 596	张宪春
6	耳叶卷柏 *S. pseudopaleifera* Hand.-Mazz.	大孢子 小孢子	金平	朱维明等	1905A – 1	朱维明
7	高雄卷柏 *S. repanda* Spring	大孢子 小孢子	勐腊 屏边	刑公侠 税玉民	06679 1390 – 35	张宪春
8	泰国卷柏 *S. siamensis* Hieron.	大孢子 小孢子	澜沧	朱维明等	15741	朱维明

扫描电子显微镜所用材料的制作方法是：（1）将自然干燥的大孢子在光学显微镜下经过选取不同观察面，逐个摆放在贴有透明双面胶的样品台上，经喷金后置于HITACHIS – 800型扫描电子显微镜下观察并照相。（2）将自然干燥的小孢子直接均匀地撒在贴有透明双面胶的样品台上，经喷金后置于HITACHIS – 800型扫描电子显微镜下观察并照相。（3）每种大、小孢子各取10 ~ 20个（个别种除外）在光学显微镜下测量其极轴和赤道轴数值，孢子大小均以“极轴长×赤道轴长”表示，两值均为平均值，并给出变异幅度。单位为微米（μm）。

2　观察结果

2.1　钝叶卷柏 *S. amblyphylla* Alston（大孢子见图版Ⅱ：12，图版Ⅲ：1～3；小孢子见图版Ⅲ：4～6）

大孢子：近球形。极面观近圆形，赤道面观近扇形。大小为（186.7～300.0）229.3×253.1（173.4～340.0）μm。三裂缝挺直突出，长达孢子半径的 3/4 以上。近极面为颗粒状纹饰，密集。三裂缝交汇处附近的颗粒小，赤道线附近颗粒稍大。远极面为彼此相连的条状纹饰，不甚规则，呈疏松的拟网状。有的孢子的远极面为疏松的瘤状纹饰，偶有联结。整个孢子表面分布有微小的刺状突起，短而密集。

小孢子：扁球形。极面观圆三角形，赤道面观扁圆形。大小为（21.1～29.1）24.5×29.4（23.8～34.4）μm。三裂缝挺直突出，上有微小的刺，长几达赤道线。近极面外壁为瘤状纹饰，密集而界限不清。远极面为疣状纹饰。彼此密集，有时连接呈块状。孢子外壁表面密布微小颗粒。

2.2　双沟卷柏 *S. bisulcata* Spring（大孢子见图版Ⅲ：7～9；小孢子见图版Ⅲ：10～12）

大孢子：近球形。极面观和赤道面观均为近圆形。大小为（346.7～480.0）428.0×461.3（386.7～506.7）μm。三裂缝挺直突出，加厚升高，长达孢子半径的 3/4 左右。近极面具稀疏而分布很不均匀的小瘤。远极面较光滑，偶具小瘤。具明显的周壁。

小孢子：扁球形。极面观圆三角形或近圆形，赤道面观半圆形。大小为（13.1～23.5）20.0×26.2（19.6～30.1）μm。三裂缝加厚隆起，有时不直，长度几达赤道线。近极面具小瘤，大小不一致，远极面具疣块状纹饰，疣块较粗大，分布稠密，大小不一致，整个外壁表面具密的微刺，在高倍放大时，可见微刺基部分枝，有时在瘤或疣的表面近光滑。

2.3　勃固卷柏 *S. kurzii* Baker（大孢子见图版Ⅰ：1～3；小孢子见图版Ⅰ：4～6）

大孢子：近球形。极面观近圆形，赤道面观近扇形。孢子大小为（173.3～293.3）260.0×260.0（200.0～306.7）μm。三裂缝挺直突出，长达赤道线，较粗。近极面及远极面都密布着小瘤状纹饰，且颗粒大小、分布较均匀。在放大 2000 倍的微细结构中，可见在颗粒及颗粒之间的孢壁上有微刺密布。

小孢子：扁球形。极面观圆三角形，赤道面观扇形。孢子大小为（26.2～40.5）31.4×38.1（30.1～45.8）μm。三裂缝隆起，长达赤道线，其上有小颗粒。四分体痕孢壁较薄，常下陷，近极面及远极面都具有疣状纹饰，疣突密集。疣状突起上有形状不规则的微刺。

2.4　疏穗卷柏 *S. laxistrobilis* K. H. Shing（大孢子见图版Ⅰ：7～9；小孢子见图版Ⅰ：10～12）

大孢子：近球形。极面观近圆形，赤道面观扇形。孢子大小为（220.0～373.4）317.4×333.3（246.7～380.0）μm。三裂缝挺直突出，长达孢子半径的 3/4 左右。近极面具较密集的颗粒状纹饰，越靠近三裂缝交汇处颗粒越小。远极面为瘤状纹饰，有些形状不规则，彼此连结呈短条状。

小孢子：扁球形。极面观近圆形，赤道面观扇形。孢子大小为（17.7～32.7）25.2×31.9（22.9～38.6）μm。三裂缝挺直突出，上有瘤状突起，长达孢子半径的 3/4 以上。近极面为许多小的瘤状纹饰，越靠近赤道线，瘤突越大，瘤突上还偶有一些疣状突起。远极面为排列紧密的疣状纹饰，有的疣突彼此相连呈块状。瘤突及疣突上具细小的颗粒或小

刺。

2.5 微齿钝叶卷柏 *S. ornata*（Hook. et Grev.）Spring（**大孢子见图版**Ⅳ：1～3；**小孢子见图版**Ⅳ：4～5）

大孢子：近球形。极面观圆形，赤道面观扁圆形。大小为（186.7～373.3）313.3×341.3（240.0～413.3）μm。**三裂缝挺直突出，长为孢子半径的** 2/3 **左右。近极面为颗粒状纹饰，三裂缝交汇处附近的颗粒小而密集。赤道线附近颗粒较大呈瘤状，形状不规则。远极面为瘤状纹饰，多数瘤突彼此相连呈短条状或皱波状；甚至呈拟网状，网脊不高，网眼较浅。微观结构可见在瘤突及瘤突之间的孢壁上密布细刺。**

小孢子：扁球形。极面观近圆形，赤道面观多半圆形。大小为（19.6～26.2）22.4×26.7（22.2～31.4）μm。**三裂缝挺直突出，其上密布小颗粒，和近极面纹饰相似，因而不太明显。近极面为其上布满小颗粒的疣状纹饰，疣突密集。远极面也为疣状纹饰，疣突较大，稍疏松，疣突和疣突之间的孢壁上密布微小颗粒。**

2.6 耳叶卷柏 *S. pseudopaleifera* Hand.-Mazz.（**大孢子见图版**Ⅱ：1～3；**小孢子见图版**Ⅱ：4～6）

大孢子：近球形。极面观近圆三角形，赤道面观近圆形。大小为（306.7～520.0）438.7×482.7（333.0～600.0）μm。**三裂缝挺直，其上疏松地分布有颗粒状突起，长为孢子半径的** 1/2 **左右。近极面三裂缝交汇处附近为颗粒状纹饰，颗粒由中心向四周逐渐变大，至赤道线附近纹饰呈瘤状。远极面为瘤块状纹饰，瘤块形状不规则。孢子外壁具粘丝。**

小孢子：扁球形。极面观圆三角形或圆形，赤道面观扁圆形。大小为（22.2～28.8）24.8×28.8（22.2～39.2）μm。**三裂缝不太明显，由排列较紧密的刺状突起所组成，直达赤道线。近极面为刺状纹饰，偶有稍宽呈脊状的。远极面为形状不规则的鸡冠状纹饰，有的鸡冠状突起顶端变尖呈刺状，远比近极面的刺大而宽扁。**

2.7 高雄卷柏 *S. repanda*（Desv. ex Poir）Spring（**大孢子见图版**Ⅳ：6～7；**小孢子见图版**Ⅳ：8～9）

大孢子：近球形。近极面观圆形，赤道面观近圆形。大小为（186.7～266.7）230.7×245.3（173.3～306.7）μm。**三裂缝挺直，不太突出，长为孢子半径的** 2/3 **左右。孢子壁面较光滑，没有什么明显纹饰。只见一些低矮，紧密相连而界限不清，形状不规则的瘤突布满孢子表面。**

小孢子：扁球形。极面观圆三角形，赤道面观多半圆形。大小为（26.2～41.8）31.0×39.2（31.4～55.0）μm。**三裂缝突出，长达赤道线。四分体痕孢壁较薄，常下陷。近极面为其上布满颗粒或小脊的瘤状纹饰，瘤突紧密相连，界限不清。远极面为疣状纹饰，疣突密集，在疣突和疣突之间的孢壁上密布小颗粒。**

2.8 泰国卷柏 *S. siamensis* Hieron.（**大孢子见图版**Ⅱ：7～9；**小孢子见图版**Ⅱ：10～11）

大孢子：近球形。极面观圆三角形或圆形，赤道面观近圆形。大小为（226.7～400.0）348.0×368.0（280.0～413.3）μm。**三裂缝挺直突出，长达孢子半径的** 2/3 **以上。近极面三裂缝交汇处附近为小瘤状纹饰，排列较紧密。远极面为排列稍疏松的瘤状纹饰，偶见两个或两个以上的小瘤状突起连接在一起。孢子外壁具粘丝。**

小孢子：近球形。极面观近圆形或圆形，赤道面观半圆形。大小为（26.2～45.8）

32.0×35.4（28.8~51.0）μm。三裂缝不明显，上有瘤状突起，长达赤道线。四分体痕孢壁薄，常下陷。近极面为颗粒状或瘤状纹饰。远极面为片状或鸡冠状纹饰，有的鸡冠状突起的边缘有啮蚀状缺刻。有的孢子的鸡冠状突起排列紧密，相互套叠。

3　问题与讨论

根据扫描电镜观察的结果，云南产 8 种卷柏的孢壁纹饰特征在种间的差异是明显的，通过孢壁纹饰特征可为种的区分提供依据。卷柏科植物的孢子在形态上具有高度的一致性：都为三裂缝辐射对称；基本纹饰类型为：网状、颗粒状、瘤状、疣状、块状等；微细结构为：颗粒、刺、小脊等；孢子纹饰为单纯的基本纹饰类型的种类很少，多为混合纹饰类型。

卷柏科植物具异型孢子，无论是研究孢子的形态，还是讨论每一种的演化位置，都要分别从大、小孢子两个角度加以比较分析，即使主要从一个角度进行定性推断，也必须兼及另一角度，否则结论将不全面。因此较之大多数的同型孢子的植物而言，就增加了一定的难度，同时更加证明了卷柏科植物具有特殊的系统学意义。另外，从孢粉学角度来看，具异型孢子对于植物的鉴定是有一定意义的。例如本次所观察的勃固卷柏 *S. kurzii* Baker 的小孢子（图版Ⅰ：4~6），微齿钝叶卷柏 *S. ornata*（Hook. et Grev.）Spring 的小孢子（图版Ⅳ：4~5），高雄卷柏 *S. repanda*（Desv. ex Poir）Spring 的小孢子（图版Ⅳ：8~9）都为疣状纹饰，疣突上密布微小颗粒，因此从小孢子的纹饰特征上比较起来，十分相似。但是 3 种卷柏的大孢子纹饰各不相同，*S. kurzii* Baker 的大孢子（图版Ⅰ：1~3）为规则颗粒状纹饰，*S. ornata*（Hook. et Grev.）Spring 的大孢子（图版Ⅳ：1~3）为瘤状、短条状甚或拟网状纹饰，*S. repanda*（Desv. ex Poir）Spring 的大孢子（图版Ⅳ：6~7）为较光滑，低矮而界限不清的瘤状纹饰。这样看来，即使从小孢子纹饰来看很难区分的种类依然可以从大孢子的纹饰特征方面进行鉴定，同样，大孢子纹饰比较相似的种类也可以从小孢子纹饰特征方面进行比较。但是，是大孢子的纹饰类型还是小孢子的纹饰类型与卷柏科植物的系统演化关系更密切？大、小孢子的纹饰特征是否存在必然的联系？是独立演化还是协同进化？这些问题都有待更进一步的研究与探讨。

稳定而典型的纹饰特征通常是植物孢子分类的特征性区别，赵迎春等（2001）研究卷柏属孢子囊排布规律，观察到同种个体随地域及环境的不同，孢子囊排布略有不同，而得出卷柏属植物可能受环境影响较大的结论，但笔者通过将本次研究的云南产的几种卷柏与其他采集地的同样几种卷柏做对比分析，认为卷柏科植物孢子的形态学特征受地域的影响并不大，不同采集地的孢子形态，的确存在着一定的差异，但是在主要纹饰类型上，不同采集地的孢子形态相对来说是稳定的，只是在刺的长短、颗粒的大小或脊的高矮等方面有些不同，这样就更加印证了卷柏科植物孢粉形态在分类上有着重要意义，可以为卷柏科分类和系统演化提供孢粉学资料。

致谢　本研究承蒙中国科学院植物研究所席以珍先生给予热情指导，肖荫厚高级工程师指导并协助扫描电镜观察。

〔参考文献〕

Bajpai U，Maheshwari HK，1986．SEM study of megaspore sporoderm of some Indian Selaginellas［J］．*Phytomorphology*，**36**（1，2）：43—51

Huang TC（**黄增泉**），1981．Spore Flora of Taiwan［M］．Taiwan：Tah-Jinn Press，61—67

Jermy AC，1990．Selaginellaceae［A］．In：Kramer KU，Green PS eds．The Families and Genera of Vascular Plants I：Pteridophytes and Gymnosperms［M］．Berlin，Heidelberg：Springer-Verlag，39—45

Liu BD（**刘保东**），Bao WM（**包文美**），Ao ZW（**敖志文**），1989．Studies on the spores of morphology of the family Selaginellaceae from China［J］．*Bull Bot Res*（**植物研究**），**9**（3）：113—122

Liu JX（**刘家熙**），Zhang XC（**张宪春**），Sun XH（**孙晓红**），*et al*，2001．New materials of the megaspores morphology of the Selaginellaceae from China［J］．*J Chin Electr Microsc Soc*（**电子显微学报**），**20**（4）：511—512

Minaki M，1984．Macrospore morphology and taxonomy of *Selaginella*（Selaginellaceae）［J］．*Pollen et Spores*，**26**（3，4）：421—480

Robert Lee Hellwig，1969．Spores of the heterophyllous *Selaginellae* of Mexico and America［J］．*Ann Missouri Bot Gard*，**56**：444—464

Sun XH（**孙晓红**），Zhang JM（**张静梅**），Jiang Y（**姜怡**），*et al*，2002．Studies on the Chinese Selaginellaceae（III）—Observation of the microspores of three species of *Selaginella*［J］．*J Capital Nor Univ*（*Natural Science*）（**首都师范大学学报（自然科学版）**），**23**（1）：48—51

Tryon RM，Tryon AF，1982．Ferns and Allied Plants with Special Reference to Tropical America［M］．New York etc：Springer-Verlag，821—823

Zhou HG（**周厚高**），Huang YY（**黄玉源**），Xie YL（**谢义林**），*et al*，1999．The study on genus *Selaginella* Beauv．from Guangxi，China［J］．*J Guangxi Agric Biol Sci*（**广西农业生物科学**），**18**（**增刊**）：137—141

Zhao YC（**赵迎春**），Liu QR（**刘全儒**），Zhang XC（**张宪春**），2001．Study on the Chinese species of Selaginellaceae（II）—A preliminary observation on the strobilar organization in *Selaginella*［J］．*J Beijing Nor Univ*（*Natural Science*）（**北京师范大学学报（自然科学版）**），**37**（1）：105—110

Zhang YL（**张玉龙**），Xi YZ（**席以珍**），Zhang JT（**张金谈**），1976．Spore Morphology of Chinese Pteridophytes［M］．Beijing：Science Press，23—25，41—48

图版说明 Explanation of Plates

图版Ⅰ（PlateⅠ）：1－3 Megaspores of *S*.*kurzii* Baker（1×150；2×150；3×150）；4－6 Microspores of *S*.*kurzii* Baker（4×1 020；5×1 200；6×4 800）；7－9 Megaspores of *S*.*laxistrobilis* K. H. Shing（7×120；8×120；9×120）；10－12 Microspores of *S*.*laxistrobilis* K. H. Shing（10×1 800；11×1 320；12×2 100）

图版Ⅱ（PlateⅡ）：1－3 Megaspores of *S*.*pseudopaleifera* Hand.-Mazz.（1×90；2×90；3×90）；4－6 Microspores of *S*.*pseudopaleifera* Hand.-Mazz.（4×1 200；5×1 500；6×1 500）；7－9 Megaspores of *S*.*siamensis* Hieron.（7×102；8×102；9×102）；10－11 Microspores of *S*.*siamensis* Hieron.（10×1 200；11×1 020）；12 Megaspores of *S*.*amblyphylla* Alston（12×900）

图版Ⅲ（PlateⅢ）：1－3 Megaspores of *S*.*amblyphylla* Alston（1×150；2×150；3×180）；4－6 Microspores of *S*.*amblyphylla* Alston（4×1 500；5×1 320；6×1 500）；7－9 Megaspores of *S*.*bisulcata* Spring（7×90；8×90；9×90）；10－12 Microspores of *S*.*bisulcata* Spring（10×1 320；11×1 500；12×1 320）

图版Ⅳ（PlateⅣ）：1－3 *S*.*ornata*（Hook. et Grev.）Spring（1×102；2×102；3×2 400）；4－5 Microspores of *S*.*ornata*（Hook. et Grev.）Spring（4×1 500；5×4 800）；6－7 Megaspores of *S*.*repanda*（Desv. ex Poir）Spring（6×180；7×240）；8－9 Microspores of *S*.*repanda*（Desv. ex Poir）Spring（8×1 020；9×3 000）